



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 100.61 957.6

Anmeldetag: 13. Dezember 2000

Anmelder/Inhaber: Jörg Houpert,
Bremen/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung
instationärer Geräuschstörungen in Audiosignalen

IPC: H 03 H, H 04 R, G 10 L

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 13. Dezember 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

HoiB

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**



S/N 10/044210

#1
PATENT
J-PJ

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant:	Rademacher, et al	Examiner:	To be assigned
Serial No.:	10/044210	Group Art Unit:	To be assigned
Filed:	12/13/01	Docket No.:	635.347US01
Title:	METHOD AND APPARATUS FOR REDUCING RANDOMLY, CONTINUOUS, NON-STATIONARY DISTORTIONS IN AUDIO SIGNALS		

CERTIFICATE OF MAILING UNDER 37 C.F.R. §1.8

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Assistant Commissioner for Patents, Washington, DC 20231 on April 17, 2002.

Michael B. Lasky

Name

Signature

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Box Missing Parts
Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231



Dear Sir:

Enclosed is a certified copy of German application, Serial Number 100 61 957.6,
filed December 13, 2000, the priority of which is claimed under 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

Altera Law Group, LLC
6500 City West Parkway – Suite 100
Minneapolis, MN 55344-7701
952-912-0527

Date: April 17, 2002

By:

Michael B. Lasky
Reg. No. 29,555
MBL/blj

Bremen
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Günther Eisenführ
Dipl.-Ing. Dieter K. Speiser
Dr.-Ing. Werner W. Rabus
Dipl.-Ing. Jürgen Brügge
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt
Dipl.-Ing. Klaus G. Göken
Jochen Ehlers
Dipl.-Ing. Mark Andres
Dipl.-Ing. Stephan Keck
Dr.-Ing. Stefan Sasse*
*nur Patentanwalt

Rechtsanwälte
Ulrich H. Sander
Sabine Richter

Martinistrasse 24
D-28195 Bremen
Tel. +49-(0)421-36 35 0
Fax +49-(0)421-337 8788 (G3)
Fax +49-(0)421-328 8631 (G4)
mail@eisenfuhr.com
http://www.eisenfuhr.com

Hamburg
Patentanwalt
European Patent Attorney
Dipl.-Phys. Frank Meier

Rechtsanwälte
Christian Spintig
Rainer Böhm
Silja J. Greischel*
*Maitre en Droit

München
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Wirt.-Ing. Rainer Fritsche
Lbm.-Chem. Gabriele Leißler-Gerstl
Dipl.-Ing. Olaf Ungerer
Patentanwalt
Dipl.-Chem. Dr. Peter Schuler

Berlin
Patentanwälte
European Patent Attorneys
Dipl.-Ing. Henning Christiansen
Dipl.-Ing. Joachim von Oppen
Dipl.-Ing. Jutta Kaden
Dipl.-Ing. Mathias Karlhuber

Alicante
European Trademark Attorney
Dipl.-Ing. Jürgen Klinghardt

Bremen, den 12. Dezember 2000

Unser Zeichen: H 3357 WWR/ml

5 Anmelder/Inhaber: HOUPERT, Jörg
Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

10

Jörg Houpert, Fahrenheitstraße 1, 28359 Bremen

Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung instationärer Geräuschstörungen in Audiosignalen

15

Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung instationärer Geräuschstörungen in Audiosignalen

20 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reduktion zufälliger kontinuierlicher, instationärer Störungen in Audiosignalen, die in diskreter Form vorliegen oder aus der Abtastung eines analogen zufällig, kontinuierlich, instationär gestörten Audiosignal gewonnen wird, wobei das gestörte Audiosignal mittels einer vorgegebenen Filterfunktion gefiltert wird.

25

Audiosignale sind oftmals durch zufällige, kontinuierliche Störungen - im folgenden kurz als Störgeräusche oder Rauschstörungen bezeichnet - beeinträchtigt, die die Qualität des Signals negativ beeinflussen. Die Reduzierung bzw. Entfernung dieser Störgeräusche erfolgt üblicherweise durch die Filterung des gestörten Audiosignals mit einer Filterfunktion, bei der das gefilterte Ausgangssignal das geräuschreduzierte bzw. ungestörte Audiosignal möglichst gut
30 approximiert. Die Berechnung der Filterfunktion erfolgt dabei aus dem gestörten Audiosignal.

Im Rahmen der vorliegenden Patentanmeldung wird von der Annahme ausgegangen, dass sich das zufällig, kontinuierlich gestörte, diskrete Audiosignal $x(k)$, welches aus der Abtastung eines analogen, gestörten Audiosignals $x(t)$ an den diskreten Abtastzeitpunkten k unter Beachtung des Nyquist-Theorems hervorgegangen ist, additiv aus einem diskreten, ungestörten Audiosignal $s(k)$ und einem diskreten, zufälligen, kontinuierlichen Störsignal $n(k)$ zusammensetzt:

$$10 \quad x(k) = s(k) + n(k) \quad (1)$$

Ein bekanntes Verfahren zur Reduzierung bzw. Entfernung derartiger, zufälliger, kontinuierlicher Störungen, das sogenannte Verfahren zur „kurzzeitigen spektralen Dämpfung – im folgenden kurz Short Time Spectral Attenuation oder STSA genannt - ist in dem Blockschaltbild gemäß Figur 1 wiedergegeben.

Hierbei bedeutet t die Zeit und k die diskreten Zeitpunkte der Signalabtastung. m bedeutet die diskrete Frequenz. $X(m)$, $S(m)$ und $N(m)$ sind die betreffenden Signale im Frequenzbereich. Im Frequenzbereich gilt daher entsprechend

$$20 \quad X(m) = S(m) + N(m) \quad (2)$$

Das diskrete, gestörte Audiosignal $x(k)$ wird bei diesem bekannten Verfahren in einem ersten Schritt, mittels einer diskreten Fouriertransformation in den Frequenzbereich transformiert, Block 1, so dass sich die diskrete Frequenzbereichsdarstellung $X(m)$ ergibt. Aus dieser diskreten Spektraldarstellung erfolgt eine einmalige Schätzung $\hat{\Phi}_{NN}(m)$ der diskreten Autorausleistungsichte $\Phi_{NN}(m)$ durch ein bekanntes Schätzverfahren, Block 2, bei dem beispielsweise eine

- 30 (3a) Schätzung der Autorausleistungsichte innerhalb (annähernd) nutzsignalfreier Passagen des gestörten Signals oder eine
 (3b) „direkte Schätzung“

vorgenommen wird.

Die geschätzte diskrete Autorausleistungsdichte $\hat{\Phi}_{NN}(m)$ ergibt sich aus einem diskreten, zufällig, kontinuierlich gestörten Audiosignal entsprechend des in (3a) genannten Verfahrens durch Auswertung (annähernd) audiosignalfreier Passagen des gestörten Signals in denen näherungsweise gilt

5

$$x(k) \approx n(k), \text{ da } s(k) \approx 0. \quad (4)$$

Unter Ausnutzung der Linearität der Fouriertransformation ergibt sich innerhalb dieser Abschnitte eine Schätzung der diskreten Autorausleistungsdichte gemäß

10

$$\hat{\Phi}_{NN}(m) = \Phi_{XX}(m). \quad (5)$$

Das alternative „direkte Schätzung“ genannte Verfahren (3b) wurde in „Steven L. Gay, Jacob Benesty: *Acoustic Signal Processing for Telecommunication*; Kluwer International Series in Engineering and Computer Science; Kapitel 9: Eric J. Diethorn: *Subband Noise Reduction Methods for Speech Enhancement*, März 2000, ISBN 0-7923-7814-8“ vorgestellt und beruht auf einer beschränkten Verfolgung der Leistungsdichte des gestörten Signals.

Basierend auf der Schätzung der Autorausleistungsdichte $\hat{\Phi}_{NN}(m)$ und der diskreten Frequenzbereichsdarstellung $X(m)$ des diskreten, gestörten Audiosignals $x(k)$ erfolgt bei diesem bekannten Verfahren die Bestimmung einer geeigneten Filterfunktion $H_G(m)$, vgl. Block 3, bei der das abgegebene Signal das ungestörte Audiosignal $s(k)$ möglichst genau approximiert. In diesem Zusammenhang sind verschiedene Berechnungsvorschriften bekannt, beispielsweise der

25

- (6a) Ansatz nach Wiener bei dem als Approximationskriterium der mittlere quadratische Fehler zwischen Nutzsignal und Schätzung verwendet wird, oder der
- (6b) Ansatz zur Amplituden-Subtraktion, oder der
- (6c) Ansatz zur Leistungs-Subtraktion,

30

die in „S. F. Boll; *Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction*; IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Process.; ASSP-27; Seite 113-120; 1979“ beschrieben sind.

Zur Bestimmung einer Schätzung $\hat{s}(k)$ des diskreten, ungestörten Audiosignals $s(k)$ erfolgt eine Filterung des diskreten, gestörten Audiosignals $x(k)$ mit der zuvor bestimmten Filterfunktion. Diese kann entweder im Zeitbereich durch die Faltung des diskreten, gestörten Signals $x(k)$ mit der diskreten Impulsantwort der Filterfunktion $h_G(k)$ realisiert werden

5

$$\hat{s}(k) = h_G(k) * x(k), \quad (7)$$

wobei $(*)$ den Faltungsoperator darstellt oder, wie in Abbildung 1 dargestellt, im Frequenzbereich durch die Multiplikation der diskreten Übertragungsfunktion $H_G(m)$ mit der diskreten Spektraldarstellung $X(m)$ des diskreten, gestörten Audiosignals $x(k)$, vgl. Block 4,

$$\hat{S}(m) = H_G(m) \cdot X(m). \quad (8)$$

Aus der derart bestimmten diskreten Schätzung $\hat{S}(m)$ wird die entsprechende Darstellung $\hat{s}(k)$ im Zeitbereich durch die inverse, diskrete Fouriertransformation gewonnen, vgl. Block 5, so dass das geräuschbefreite Signal ggf. mittels eines Digital-Analog-Wandlers in ein analoges, geräuschbefreites Signal umgesetzt werden kann.

Ein Nachteil dieses bekannten Verfahrens besteht darin, dass durch die Filterung des gestörten Audiosignals erneut Störungen in das geräuschbefreite Signal eingetragen werden, die durch die Filterung entstehen und zu unerwünschten sog. „Musical Tones“ führen. Ferner ist ein weiteres Verfahren bekannt, das im folgenden anhand des Blockschaltbildes gemäß Figur 2 beschrieben ist und welches in seinem Grundprinzip dem Verfahren gemäß Figur 1 entspricht.

25 Dieses bekannte Verfahren arbeitet auf folgende Weise:

Aus der diskreten Schätzung der Autorausleistungsdichte $\hat{\Phi}_{NN}(m)$, Block 2, und der diskreten Spektraldarstellung $X(m)$, am Ausgang des Blocks 1 des diskreten gestörten Audiosignals $x(k)$ wird die Filterfunktion $H_G(m)$ ermittelt, Block 3. Vor der eigentlichen Filterung des gestörten Signals, Block 4, wird die Filterfunktion $H_G(m)$ auf einen festen minimalen Wert γ_{sf} - auch als „spektraler Boden“ bezeichnet -, d. h. auf eine maximale

30

Geräuschreduktion, beschränkt, Block 6. Somit ergibt sich für die Filterung eine neue diskrete Filterfunktion $H_G(m, \gamma_{SF})$, für die gilt:

$$H_G(m, \gamma_{SF}) = \begin{cases} H_G(m) & \text{für } H_G(m) > \gamma_{SF} \\ \gamma_{SF} & \text{sonst} \end{cases} \quad (9)$$

- 5 Diese beschränkte Filterfunktion führt einerseits dazu, dass keine Geräuschbefreiung, sondern nur noch eine Reduktion der Störung möglich ist, andererseits wird die Entstehung von sog. Musical Tones deutlich reduziert, vgl. „M. Berouti, R. Schwartz & J. Makhoul; *Enhancement of speech corrupted by acoustic noise*, in Proc. IEEE ICASSP; Seite 208-211; Washington DC; 1979“. Das durch die Filterung, Block 4 gewonnene diskrete, geräuschreduzierte Signal-
- 10 spektrum $\hat{S}(m)$ wird anschließend wie in dem Verfahren gemäß Figur 1 - durch eine inverse, diskrete Fouriertransformation, Block 5, in den diskreten Zeitbereich zurücktransformiert. Bei beiden bekannten Verfahren erweist es sich als nachteilig, dass diese nur zur Entfernung bzw. Reduktion zufälliger, kontinuierlicher stationärer und ggf. zufälliger, kontinuierlicher langsam
- 15 instationärer Störungen herangezogen werden können. Zeitliche Änderungen der statistischen Eigenschaften der Störung $n(t)$ bzw. der diskreten Störung $n(k)$ können nicht oder nur bei sehr langsamen Änderungen erfasst werden. Handelt es sich bei der überlagerten Störung jedoch beispielsweise um ein instationäres Rauschen, ergibt sich eine fehlerbehaftete Schätzung der Autorausleistungsdichte. Hieraus resultiert eine fehlerhafte Bestimmung der Filterfunk-
- 20 tion und somit eine Geräuschreduktion, die entweder das eigentliche ungestörte Signal $s(k)$ beeinträchtigt und/oder das Störsignal $n(k)$ nur unzureichend reduziert. Für die Bestimmung der Autorausleistungsdichte gemäß (3a) innerhalb nutzsignalfreier Abschnitte ergibt sich diesbezüglich eine fehlerhafte Schätzung der diskreten, instationären Autorausleistungsdichte, da ein zufällig, kontinuierlich gestörtes Audiosignal in der Regel nicht ausreichend
- 25 viele nutzsignalfreie Abschnitte aufweist, die eine fortlaufende Aktualisierung der Schätzung der Autorausleistung erlauben. Somit kann der ermittelte Schätzwert den zeitlichen Änderungen der statistischen Eigenschaften des Rauschens keine Rechnung tragen. Auch die geschilderte bekannte „direkte Schätzung“ gemäß (3b) ist außer Stande, eine Schätzung einer instationären Autorausleistungsdichte zu bestimmen, wie die diesbezüglichen Betrachtungen
- 30 in „J. Meyer (Bitzer), K.U. Simmer and K.D. Kammeyer: *Comparison of One- and Two-*

Channel Noise-Estimation Techniques; Proc. 5th International Workshop on Acoustic Echo and Noise Control (IWAENC-97), vol. 1, Seite 17-20, London, U.K., 11-12 September 1997“ zeigen.

- 5 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reduzierung zufälliger, kontinuierlicher instationärer Geräuschstörungen in Audiosignalen anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1. Diese Aufgabe wird ferner
10 gelöst durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 8.

- Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung bestehen darin, dass eine Repräsentation des gestörten Audiosignals derart bearbeitet wird, dass die zeitlichen Änderungen der statistischen Eigenschaften des Störanteils des bearbeiteten
15 Audiosignals im Vergleich zum Störanteil des unbearbeiteten Audiosignals verringert sind. Es werden die zeitlichen Änderungen der statistischen Eigenschaften reduziert, so dass das Audiosignal nach der Bearbeitung nur noch durch eine zufällige, kontinuierliche, stationäre Reststörung beeinträchtigt wird und gegebenenfalls eine weitere Reduzierung des durchschnittlichen Rauschpegels zusätzlich vorgenommen werden kann. Bei der Bestimmung
20 der Filterfunktion werden die aktuellen Eigenschaften des Nutz- und des Störsignalanteils berücksichtigt. Das Maß der Geräuschreduktion (also die Filterfunktion) wird nicht auf einen festen Amplitudenwert, sondern durch eine Repräsentation der Störung oder einer direkt oder indirekt hieraus ableitbaren Größe direkt bzw. indirekt dynamisch an die aktuellen Eigenschaften des Störsignals angepasst.

25 Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung läßt sich eine Repräsentation der Störung bestimmen, die die zeitlichen Veränderungen der statistischen Eigenschaften des Rauschens beschreibt.

- 30 Ein weiterer entscheidender Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Einbeziehung der aktuellen Störsignaleigenschaften. Bisherige Verfahren berücksichtigen in diesem Zusammenhang nur einen zeitlich begrenzten Signalausschnitt, so dass sich ändernden Eigenschaften keine Rechnung getragen wurde.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche gekennzeichnet.

Im Folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen näher
5 erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 ein Blockschaltbild eines bekannten Verfahrens zur Reduzierung zufälliger kontinuierlicher Störungen in Audiosignalen;
- 10 Figur 2 ein Blockschaltbild eines weiteren bekannten Verfahrens zur Reduzierung zufälliger kontinuierlicher Störungen in Audiosignalen;
- Figur 3 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- 15 Figur 4 ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Figur 5 ein Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- 20 Figur 6 ein Blockschaltbild einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figuren 7a,
25 bis 7c der typische zeitliche Verlauf des Störanteiles a) eines gestörten Audiosignales, b) des gemäß dem Stand der Technik bearbeiteten Audiosignales und c) des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeiteten Audiosignales.
- Figur 8 eine exemplarische Darstellung der Wirkungsweise eines bekannten Verfahrens,
- 30 Figur 9 eine exemplarische Darstellung der Wirkungsweise der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 10 eine exemplarische Darstellung der Wirkungsweise der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figuren 3 und 4 zeigen ein schematisches Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Gemäß dem Blockschaltbild nach Figur 3 wird aus einem diskreten, gestörten Audiosignal $x(k)$ durch eine entsprechende Transformation eine zugehörige Repräsentation $X(m, l)$ dieses Audiosignals bestimmt, Block 1. Die Variable l beschreibt in diesem Zusammenhang den aktuellen Betrachtungszeitpunkt. Diese Repräsentation wird in einer Bearbeitungseinheit 2 bearbeitet. Aus der Bearbeitung dieser Repräsentation entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren ergibt sich die bearbeitete, neue Repräsentation $\hat{S}(m, l)$ des Audiosignals, die durch eine Verringerung der zeitlichen Änderungen der statistischen Eigenschaften des enthaltenen Störanteils gekennzeichnet ist. Schließlich wird dann durch eine entsprechende Rücktransformation der diskrete Signalverlauf $s(k)$ gewonnen, der den diskreten, zeitlichen Verlauf des geräuschreduzierten Audiosignals als Funktion der diskreten Abtastzeitpunkte beschreibt.

Gemäß Figur 4 wird aus einer Repräsentation des gestörten Audiosignals $X_2(m, l)$, vgl. Block 5, eine geeignete Filterfunktion $H_G^{dyn}(m, l)$ bestimmt, die durch die Heranziehung einer Repräsentation $N(m, l)$, der zufälligen, kontinuierlichen, instationären Störung $n(k)$ entsprechend der aktuellen Störungseigenschaften dynamisch beschränkt wird, vgl. Block 5 und 6. In einem weiteren Bearbeitungsschritt wird die Repräsentation $X(m, l)$ des gestörten Audiosignals $x(k)$ mit der Filterfunktion $H_G^{dyn}(m, l)$ gefiltert, vgl. Block 7, so dass eine bearbeitete Repräsentation $\hat{S}(m, l)$ des gestörten Audiosignals resultiert. Aus dieser Repräsentation ergibt sich mittels einer geeigneten Rücktransformation, ein diskreter Signalverlauf $\hat{s}(k)$, der den diskreten, zeitlichen Verlauf des geräuschreduzierten Audiosignals beschreibt, vgl. Block 3.

Figur 5 zeigt das Blockschaltbild zur Realisierung einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Aus dem diskreten, gestörten Audiosignal $x(k)$ wird beispielsweise durch eine Fouriertransformation eine geeignete Repräsentation $X(m, l)$ dieses Audiosignals bestimmt, vgl. Block 1. Hieraus wird eine Repräsentation $N(m, l)$ des dem

ungestörten, diskreten Audiosignal $s(k)$ überlagerten Störungsanteil $n(k)$ gewonnen, vgl. Block 4, welche die aktuellen statistischen Eigenschaften des instationären Rauschens beschreibt. Unter Verwendung der Funktion $N(m, l)$ wird, unter Heranziehung weiterer bekannter Funktionen wie beispielsweise einer direkten oder indirekten Repräsentation des gestörten Signals – in dem dargestellten Blockschaltbild exemplarisch $X(m, l)$ – eine geeignete Filterfunktion $H_G^{dyn}(m, l)$ bestimmt, vgl. Block 8, die im Gegensatz zu den bisherigen Verfahren die Instationarität des Störanteils berücksichtigt. Diese Filterfunktion wird im folgenden Schritt auf einen minimalen Wert $\gamma_{SF}(m, l)$ beschränkt, vgl. Block 9. Diese Grenze – auch Beschränkungsfunktion genannt – ist nicht konstant, sondern bestimmt sich dynamisch in Abhängigkeit von einer direkten oder indirekten Repräsentation der Störung

$$\gamma_{SF}(m, l) = f(N(m, l)). \quad (10)$$

Besonders bevorzugt läßt sich zur Berechnung von γ_{SF} zusätzlich auch noch $X(m, l)$ bzw. $X_2(m, l)$ heranziehen, es gilt dann

$$\gamma = f(N, X). \quad (11)$$

Für die derart beschränkte Filterfunktion $H_G^{dyn}(m, l, \gamma_{SF}(m, l))$ gilt dann:

$$H_G^{dyn}(m, l, \gamma_{SF}(m, l)) = \begin{cases} H_G(m, l) & \text{für } H_G(m, l) > \gamma_{SF}(m, l) \\ \gamma_{SF}(m, l) & \text{sonst.} \end{cases} \quad (12)$$

Eine geeignete Verknüpfung – beispielsweise eine Multiplikation – einer Repräsentation $X(m, l)$ des gestörten Audiosignals $x(k)$ mit der zuvor ermittelten beschränkten Filterfunktion $H_G(m, l, \gamma_{SF}(m, l))$ liefert dann ein diskretes Signal $\hat{S}(m, l)$, aus dem sich durch eine der Transformation entsprechende Rücktransformation eine diskrete Signalfolge $\hat{s}(k)$ ableiten lässt, die dem gestörten Audiosignal $x(k)$ entspricht, jedoch durch eine geringere zeitliche Änderung der statistischen Eigenschaften der enthaltenen Störung gekennzeichnet ist, vgl. Block 6.

In Figur 6 ist ein Blockschaltbild einer dritten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt, welches zur Reduzierung einer zufälligen, kontinuierlichen, instationären Störung in einem Audiosignal dient, das durch eine amplitudenmodulierte Rausch-
 störung mit konstanter spektraler Färbung beeinträchtigt ist. Aus dem diskreten, gestörten
 5 Signal $x(k)$ wird durch eine schnelle Fouriertransformation FFT das diskrete Spektrum $X(m,l)$ des gestörten Audiosignals im Betrachtungszeitpunkt l gewonnen, vgl. Block 1, $X(m,l)$ wird auch als Repräsentationsform des gestörten Signals bezeichnet. Anhand dieses diskreten Spektrums $X(m,l)$ wird eine Schätzung der zum Betrachtungszeitpunkt l gültigen Autorausleistungsdichte, $\hat{\Phi}_{NN}(m,l)$, vorgenommen, welche ein Maß für den Störanteil
 10 $n(k)$ im gestörten Audiosignal $x(k)$ ist. Diese Schätzung erfolgt in zwei Schritten: In einem ersten Schritt wird durch eines der bekannten Schätzverfahren eine stationäre Auto-Rauschleistungsdichte $\hat{\Phi}_{NN}(m)$ ermittelt, die die spektrale Färbung, nicht aber die zeitlichen Änderungen der Störung beschreibt. In einem zweiten Schritt wird dann eine Größe bestimmt, die der Instationarität der Störung Rechnung trägt. Zu diesem Zweck wird aus der
 15 Schätzung $\hat{\Phi}_{NN}(m)$ und dem Spektrum $X(m,l)$ des gestörten Audiosignals ein zeitvarianter Modulationsfaktor $\alpha(m,l)$ bestimmt, der die Amplitudenmodulation der Störung beschreibt. Durch Multiplikation der geschätzten, stationären Autorausleistungsdichte mit diesem Modulationsfaktor ergibt sich dann der gesuchte Schätzwert $\hat{\Phi}_{NN}(m,l)$ der tatsächlichen Autorausleistungsdichte $\Phi_{NN}(m,l)$

20

$$\hat{\Phi}_{NN}(m,l) = \alpha(m,l) \cdot \hat{\Phi}_{NN}(m). \quad (13)$$

Hieraus erfolgt unter Einbeziehung der aktuellen, diskreten Fouriertransformierten $X(m,l)$ des gestörten Audiosignals $x(k)$ die Bestimmung einer Filterfunktion $H_G(m,l)$ für den
 25 aktuellen Betrachtungszeitpunkt l mittels eines geeigneten Ansatzes (beispielsweise mittels des bekannten Ansatzes nach Wiener). Diese Filterfunktion wird im folgenden mittels einer dynamisch an die Eigenschaften der Störung angepassten Beschränkungsfunktion, bzw. eines spektralen Bodens $\gamma_{SF}(m,l)$ beschränkt, der sich beispielsweise aus dem zuvor berechneten Modulationsfaktor $\alpha(m,l)$ bestimmt. Es ergibt sich die beschränkte Filterfunktion
 30 $H_G^{dyn}(m,l, \gamma_{SF}(m,l))$.

In einem weiteren Schritt wird anschließend die diskrete Fouriertransformierte des gestörten Signals $X(m, l)$ mit der zuvor bestimmten, beschränkten Filterfunktion $H_G^{dm}(m, l, \gamma_{SF}(m, l))$ multipliziert, vgl. Block 5. Aus der sich ergebenden Schätzung $\hat{S}(m, l)$ lässt sich abschließend durch eine inverse, schnelle Fouriertransformation (IFFT) ein Signal $\hat{s}(k)$ bestimmen, Block 6, das dem gestörten Audiosignal durch eine verringerte Modulation der Störung, nämlich eine geringere zeitliche Änderungen der statistischen Eigenschaften der enthaltenen Störung, und durch eine vom spektralen Boden $\gamma_{SF}(m, l)$ abhängige Geräuschreduktion gekennzeichnet ist.

- 10 Figur 7a zeigt den zeitlichen Verlauf eines Störsignalanteils $n(k)$, der einem beliebigen diskreten, ungestörten Audiosignal $s(k)$ überlagert ist. Wird ein derart zusammengesetztes, diskretes, zufällig, kontinuierlich und instationär gestörtes Audiosignal $x(k) = s(k) + n(k)$ mittels eines in der Beschreibungseinleitung genannten bekannten Verfahrens bearbeitet, so ergibt sich ein Störanteil, der in Figur 7b dargestellt ist. Wird demgegenüber das instationär gestörte Audiosignal $x(k)$ mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bearbeitet, so ergibt sich nach der Bearbeitung der in Figur 7c dargestellte resultierende Störanteil der einen über die Zeit gleichförmigen stationären Charakter aufweist; die in den Figuren 7a und 7b vorhandene typische Instationarität des Signals ist gemäß Figur 7c erfolgreich beseitigt.
- 20 Zur Erklärung der Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens, soll im Folgenden von einem Audiosignal $x(k)$ bzw. dessen Repräsentation $X(m, l)$ ausgegangen werden, die dem Quadrat der blockweisen Fouriertransformation entspricht. Das Audiosignal $x(k)$ soll aus einer instationären Störung $n(k)$ bzw. $N(m, l)$ bestehen und kein Nutzsignal $s(k)$ enthalten. Somit gilt für die diskrete Frequenz m_i und die diskreten Zeitpunkte l die den einzelnen
- 25 Signalblöcken zugeordnet sind:

$$X(m_i, l) = N(m_i, l) \quad (14)$$

- Die Signalblöcke l können in diesem Zusammenhang aus aufeinanderfolgenden diskreten
- 30 Abtastwerten zusammengefasst werden.

Exemplarisch ist in den zugehörigen Abbildungen, Figuren 8a, 9a, 10a der zeitliche Verlauf $N(m_i, l)$ für eine diskrete Frequenz m_i wiedergegeben.

Bei Einsatz des bekannten Verfahrens mit begrenzter STSA wird aus der stationären Schätzung der Auto-Rauschleistungsichte $\hat{N}(m_i)$ (Teilbild 8a, gestrichelt) und dem Störsignal eine Filterfunktion H_G anhand eines geeigneten Verfahrens (beispielsweise nach Wiener) berechnet, Teilbild 8b. In den Bereichen, in denen die reale Rauschrepräsentation $N(m_i, l)$ die stationäre Schätzung $\hat{N}(m_i)$ unterschreitet, nimmt die Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ einen Wert nahe Null an, die Rauschstörung wird zu diesen Zeitpunkten l annähernd vollständig unterdrückt. Für diejenigen Zeitpunkte l , in denen die Repräsentation der realen Rauschleistungsichte N größer als die Schätzung ist, nimmt die Filterfunktion H_G hingegen einen Wert nahe Eins an, da ein Teil des aktuellen Rauschsignals als Nutzsignal interpretiert wird.

Begrenzt man diese Filterfunktion gemäß dem STSA-Verfahren auf eine feste untere Grenze $\gamma_{SF}(m_i)$, so ergibt sich für die Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ ein zeitlicher Verlauf gemäß Teilbild 8c. Wendet man die so erzeugte Filterfunktion $H_G(m_i, l, \gamma_{SF}(m_i))$ auf das Störsignal an, so ergibt sich als Ausgangssignal wiederum eine instationäre Reststörung, vgl. Teilbild 8d.

In Figur 9 ist die schematische Wirkungsweise der ersten Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Erfindungsgemäß wird eine Schätzung der Rauschstörung $\hat{N}(m_i, l)$ gewählt, die auch die zeitlichen Änderungen der Störung beschreibt, vgl. Figur 9a. Als Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ wird beispielsweise mittels des Ansatzes nach Wiener eine zeitabhängige Funktion gewonnen, die gegebenenfalls durch eine entsprechende konstanten untere Beschränkungsfunktion $\gamma_{SF}(m_i)$ gemäß Gleichung (12) auf eine zeitlich unveränderliche untere Grenze festgelegt wird, vgl. Figur 9c). Wegen der gewählten und in Figur 9a dargestellten speziellen Störung ist in Figur 9b oder 9c die Zeitabhängigkeit der beschränkten Filterfunktion $H_G^{\phi m}$ nicht sichtbar. Erfährt das Signal eine Filterung mit dieser Filterfunktion, so enthält das bearbeitete Signal gemäß Figur 9d eine restliche Störung, deren Amplitude gegenüber der Amplitude gemäß Figur 8d) deutlich reduziert ist, wobei jedoch die Instationarität des Störsignals nicht beseitigt ist.

Ergänzt man das in Figur 9 erfindungsgemäße Verfahren um einen weiteren Schritt, d. h. beschränkt man die Filterfunktion H_G gemäß der Teilfigur 9b mittels einer zeitlich instationären unteren Beschränkungsfunktion $\gamma_{SF}(m_i, l)$, so ist es möglich, eine Reststörung im Ausgangssignal zu erreichen, die nahezu oder vollständig stationär ist, die zeitliche Instationarität des Signals N also nicht mehr enthält, vgl. Figur 10. Aus der Schätzung $\hat{N}(m_i, l)$, welche die zeitliche Änderung der Störung beschreibt, Figur 10a, und aus dem gestörten Signal $X(m, l)$ wird, wie in dem Verfahren gemäß Figur 9, die Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ bestimmt, vgl. Figur 10b. Diese wird durch eine instationäre Beschränkungsfunktion $\gamma_{SF}(m_i, l)$ gemäß Gleichung (12) begrenzt, so dass sich hieraus die dynamisch begrenzte Filterfunktion $H_G^{\phi m}(m_i, l, \gamma_{SF}(m_i, l))$ ergibt, vgl. Figur 10c. Die Filterung des Eingangssignals mit dieser Filterfunktion führt nun zu einem bearbeiteten Signal, das nur noch eine stationäre Reststörung enthält (Figur 10d).

Die Beschränkungsfunktion γ_{SF} kann beispielsweise in ihrer zeitabhängigen, konstanten Form (Figur 9c) oder in ihrer zeitabhängigen Form (Figur 10c) als spektrale Bodenfunktion gewonnen und dargestellt werden.

Die Beschränkungsfunktion γ_{SF} lässt sich von der zeitlich veränderlichen Schätzung des Störanteils des gestörten Audiosignals, besonders bevorzugt von der zeitlich veränderlichen, momentanen Störleistung des geschätzten Störanteils des gestörten Audiosignals ableiten.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Reduktion zufälliger, kontinuierlicher, instationärer Störungen in Audiosignalen, die in diskreter Form vorliegen oder aus der Abtastung eines analogen zufällig, kontinuierlich, instationär gestörten Audiosignal gewonnen werden, wobei das gestörte Audiosignal mittels einer vorgegebenen Filterfunktion gefiltert wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterfunktion dynamisch unter Berücksichtigung der aktuellen Eigenschaften des gestörten Audiosignals und/oder seiner Bestandteile und/oder hieraus abgeleiteten Größen bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Filterfunktion dynamisch unter Berücksichtigung der aktuellen Eigenschaften des im gestörten Audiosignals enthaltenen Störanteils und/oder einer hiervon abgeleiteten Größe begrenzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Abschätzung des Störanteils des gestörten Audiosignals erzeugt wird, welche die zeitliche Änderung der Störung beschreibt,
- dass aus der Abschätzung des Störanteils die unbeschränkte Filterfunktion $H_G(m, l)$ in an sich bekannter Weise als Funktion des Signal-/Rauschabstandes, beispielsweise nach Wiener, bestimmt wird,
- dass eine Beschränkungsfunktion γ_{SF} in Abhängigkeit von dem geschätzten Störanteil des gestörten Audiosignals erzeugt wird, und dass eine beschränkte Filterfunktion H_G^{dyn} erzeugt wird gemäß

$$H_G^{dyn}(m, l, \gamma_{SF}(m, l)) = \begin{cases} H_G(m, l) & \text{für } H_G(m, l) > \gamma_{SF}(m, l) \\ \gamma_{SF}(m, l) & \text{sonst.} \end{cases} \quad (12)$$

- und zur Filterung des gestörten Audiosignals verwendet wird,
- wobei m_i die betrachtete diskrete Spektralfrequenz und l die diskrete Zeit des jeweils betrachteten Signalblockes bei blockweiser Signalverarbeitung ist, wobei ein Block auch nur einen Abtastwert beinhalten kann.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die Beschränkungsfunktion γ_{SF} als zeitunabhängige Größe aus dem geschätzten Störanteil des gestörten Audiosignals erzeugt wird.
- 5 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass die Beschränkungsfunktion $\gamma_{SF}(m_i, l)$ in zeitlicher Abhängigkeit von der zeitlich veränderlichen Schätzung des Störanteils des gestörten Audiosignals erzeugt ist.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass die Beschränkungsfunktion $\gamma_{SF}(m_i, l)$ in Abhängigkeit von der zeitlich veränderlichen, momentanen Störleistung des geschätzten Störanteils des gestörten Audiosignals erzeugt wird.
- 15 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die beschränkte Filterfunktion in einem Verfahrensschritt erzeugt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
20 dadurch gekennzeichnet, dass die Filterung des gestörten Audiosignals im Zeitbereich, im Frequenzbereich oder in einem anderen mathematisch beschreibbaren Signalraum ausgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
25 dadurch gekennzeichnet, dass die unbeschränkte Filterfunktion H_G gemäß einem Ansatz nach Wiener bestimmt wird, bei dem als Approximationskriterium der mittlere quadratische Fehler zwischen Nutzsignal und Schätzung verwendet wird.
10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
30 dadurch gekennzeichnet, dass die unbeschränkte Filterfunktion H_G nach dem Verfahren der Amplituden-Subtraktion bestimmt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, dass das gestörte Audiosignal $x(k)$ in den Frequenzbereich transformiert wird, anschließend der Störanteil $N(m,l)$ des transformierten gestörten Audiosignals $X(m,l)$ abgeschätzt wird, die unbeschränkte Filterfunktion H_G und die
- 5 Beschränkungsfunktion γ_{SF} erzeugt wird und daraus die beschränkte Filterfunktion H_G^{dyn} gebildet wird, anschließend das transformierte gestörte Audiosignal $X(m,l)$ mit der beschränkten Filterfunktion H_G^{dyn} multipliziert und anschließend in den Zeitbereich zurücktransformiert wird.
- 10 12. Vorrichtung zur Reduktion zufälliger, kontinuierlicher, instationärer Störungen in Audiosignalen, die in diskreter Form vorliegen oder aus der Abtastung eines analogen, zufällig, kontinuierlich, instationär gestörten Audiosignals gewonnen werden, wobei das gestörte Audiosignal mittels einer vorgegebenen Filterfunktion gefiltert wird, gekennzeichnet durch
- 15 eine Einrichtung zur Abschätzung des Störanteils des gestörten Audiosignals, wobei diese Abschätzung die zeitliche Änderung der Störung berücksichtigt,
eine Einrichtung zur Erzeugung einer unbeschränkten Filterfunktion H_G in ansich bekannter Weise als Funktion des Signal-/Rauschabstandes,
eine Einrichtung zur Erzeugung einer Beschränkungsfunktion γ_{SF} in Abhängigkeit von
- 20 dem geschätzten Störanteil des gestörten Audiosignals, und
eine Verknüpfungseinrichtung, welche auf der unbeschränkten Filterfunktion H_G und der Beschränkungsfunktion γ_{SF} eine beschränkte Filterfunktion H_G^{dyn} gemäß Gleichung (12) erzeugt, und ein Filter, welcher das gestörte Audiosignal mit der beschränkten Filterfunktion H_G^{dyn} filtert.

25

30

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reduktion zufälliger, kontinuierlicher, instationärer Störungen in Audiosignalen vorgesehen, wobei das gestörte Audiosignal mittels einer vorgegebenen Filterfunktion gefiltert wird. Die Filterfunktion wird dynamisch unter Berücksichtigung der aktuellen Eigenschaften des gestörten Audiosignals und/oder seiner Bestandteile und/oder hieraus abgeleiteter Größen bestimmt.

10 (Figur 3)

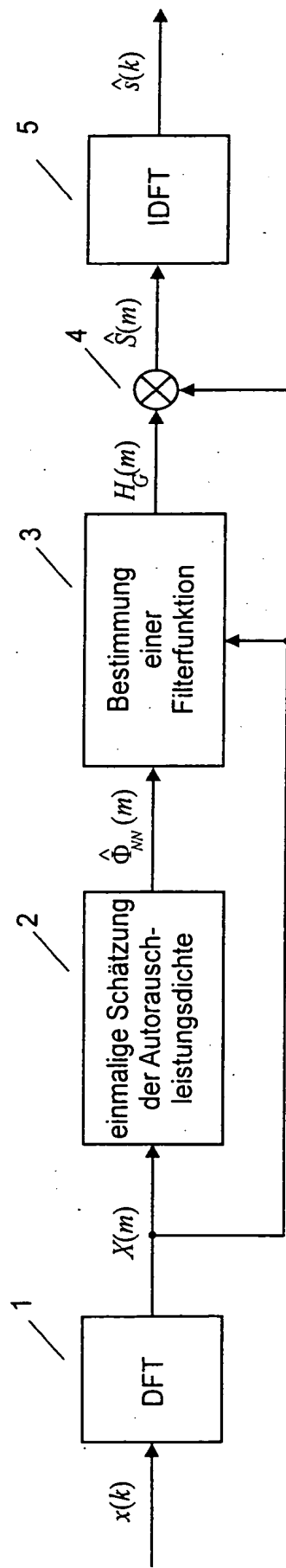


Fig. 1

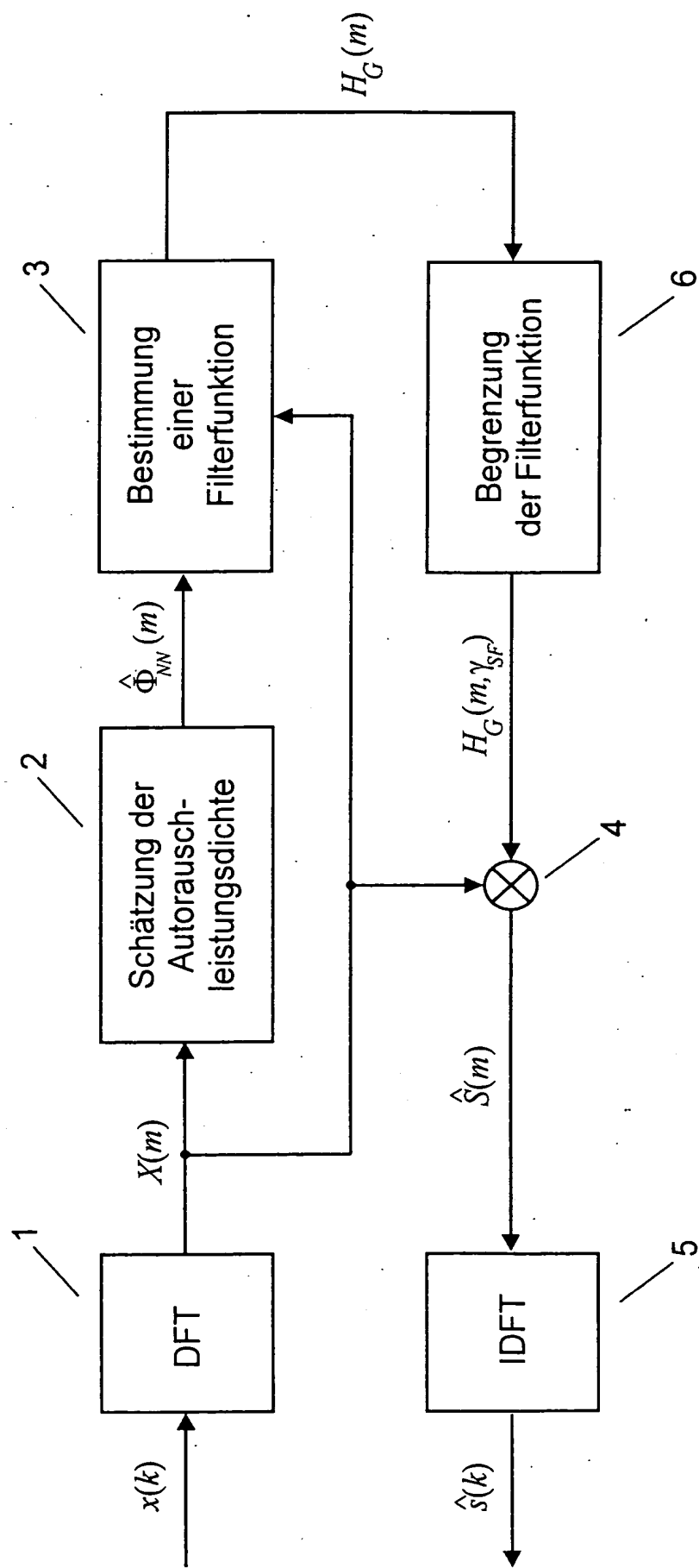


Fig. 2

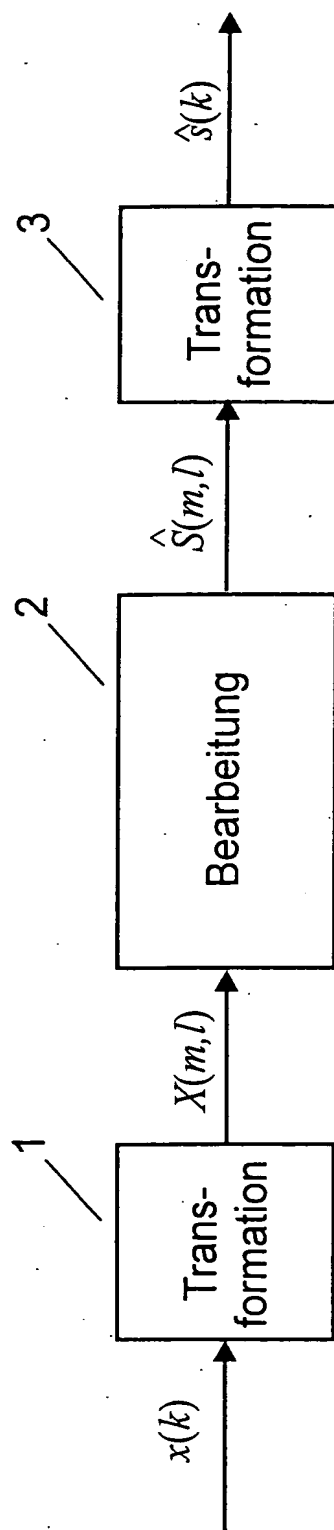


Fig. 3

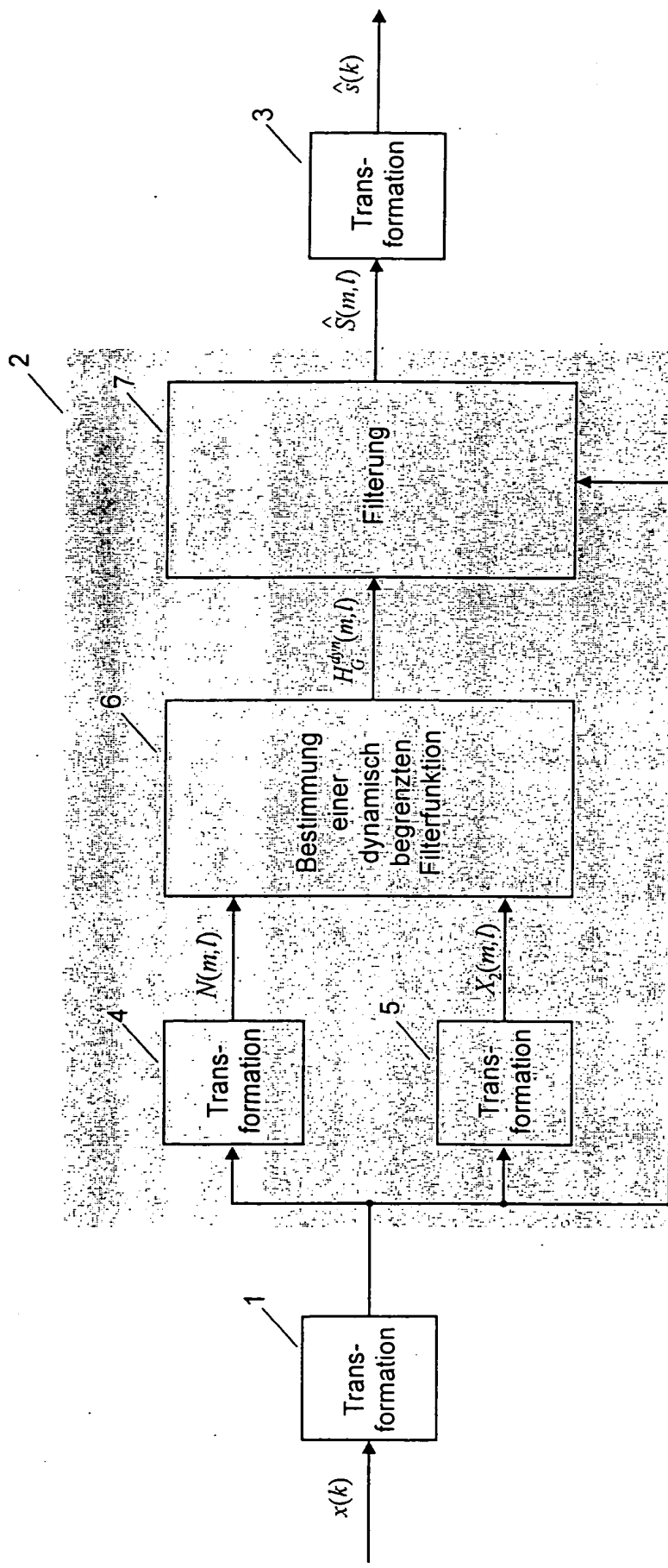


Fig. 4

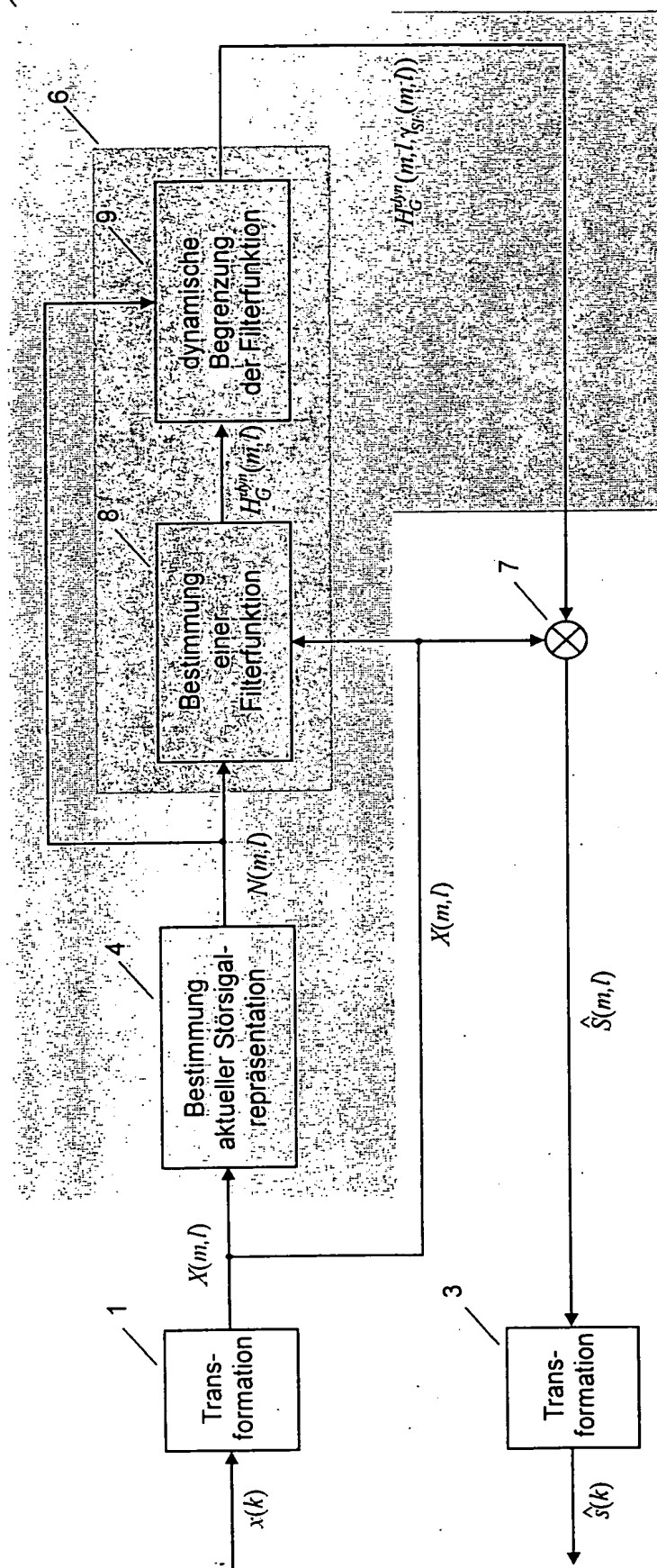


Fig. 5

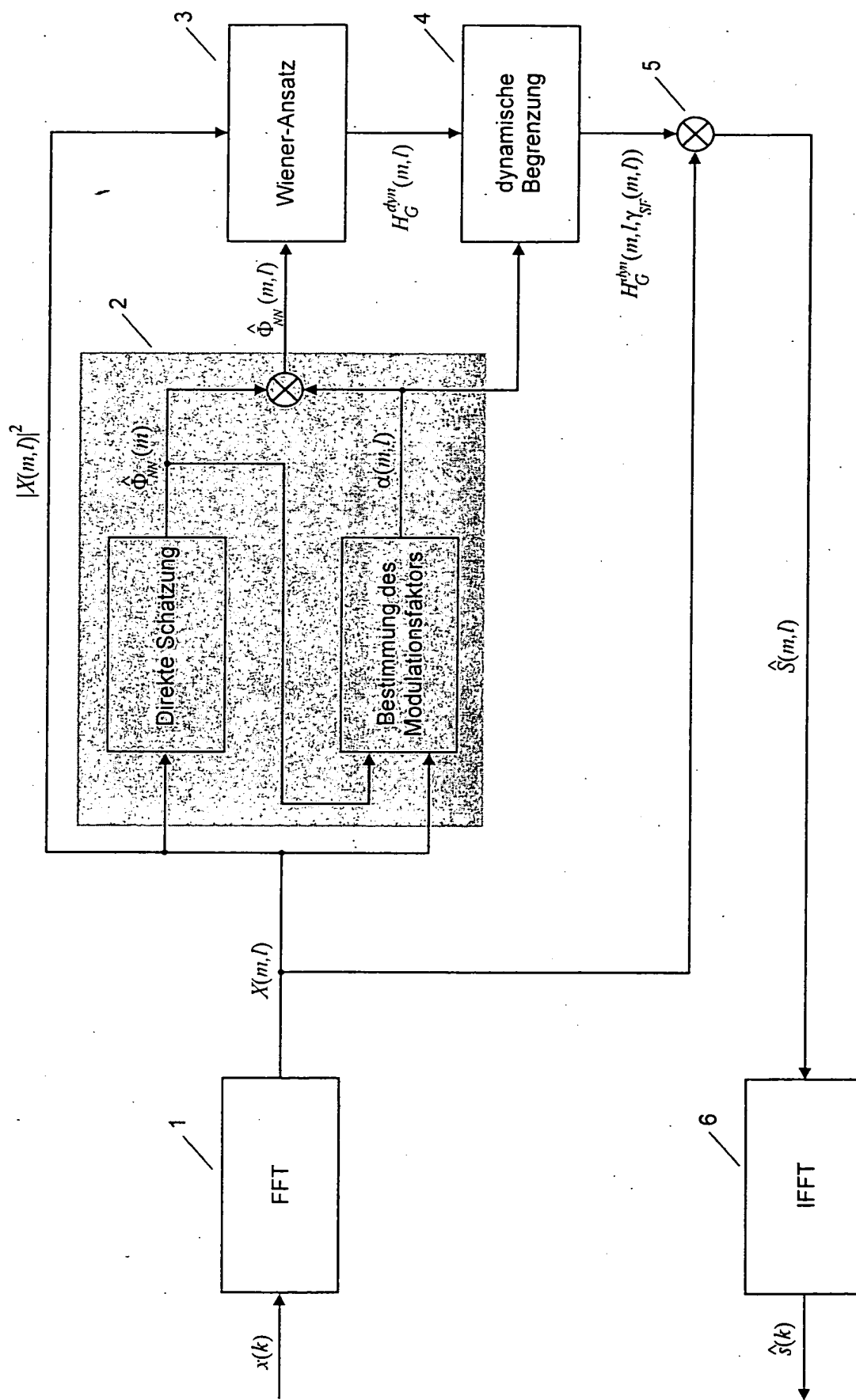


Fig. 6

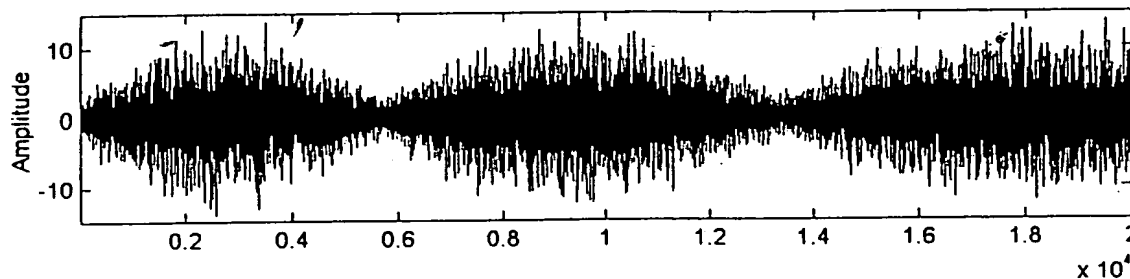


Fig. 7a

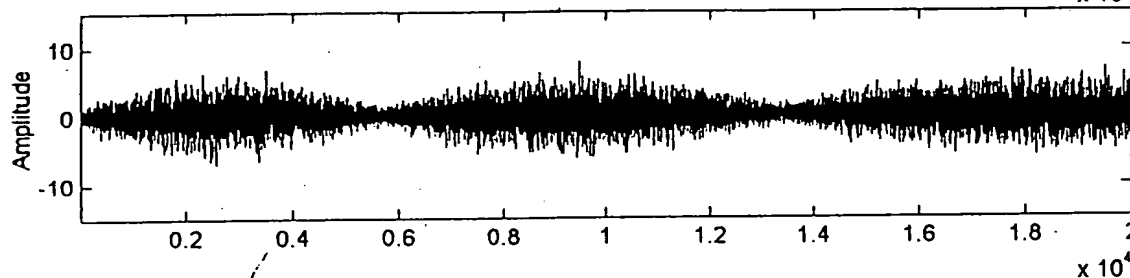


Fig. 7b

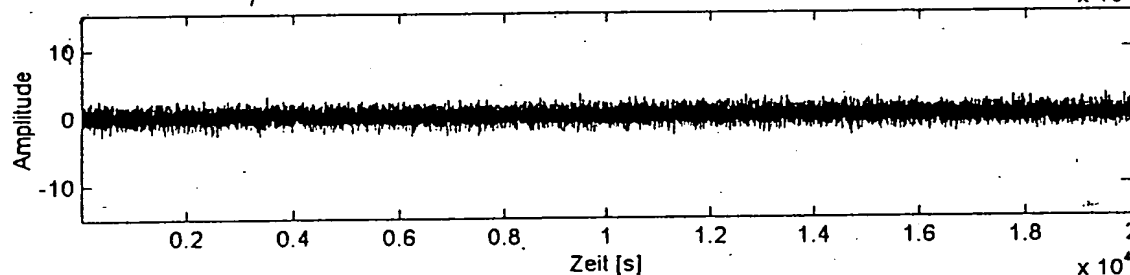
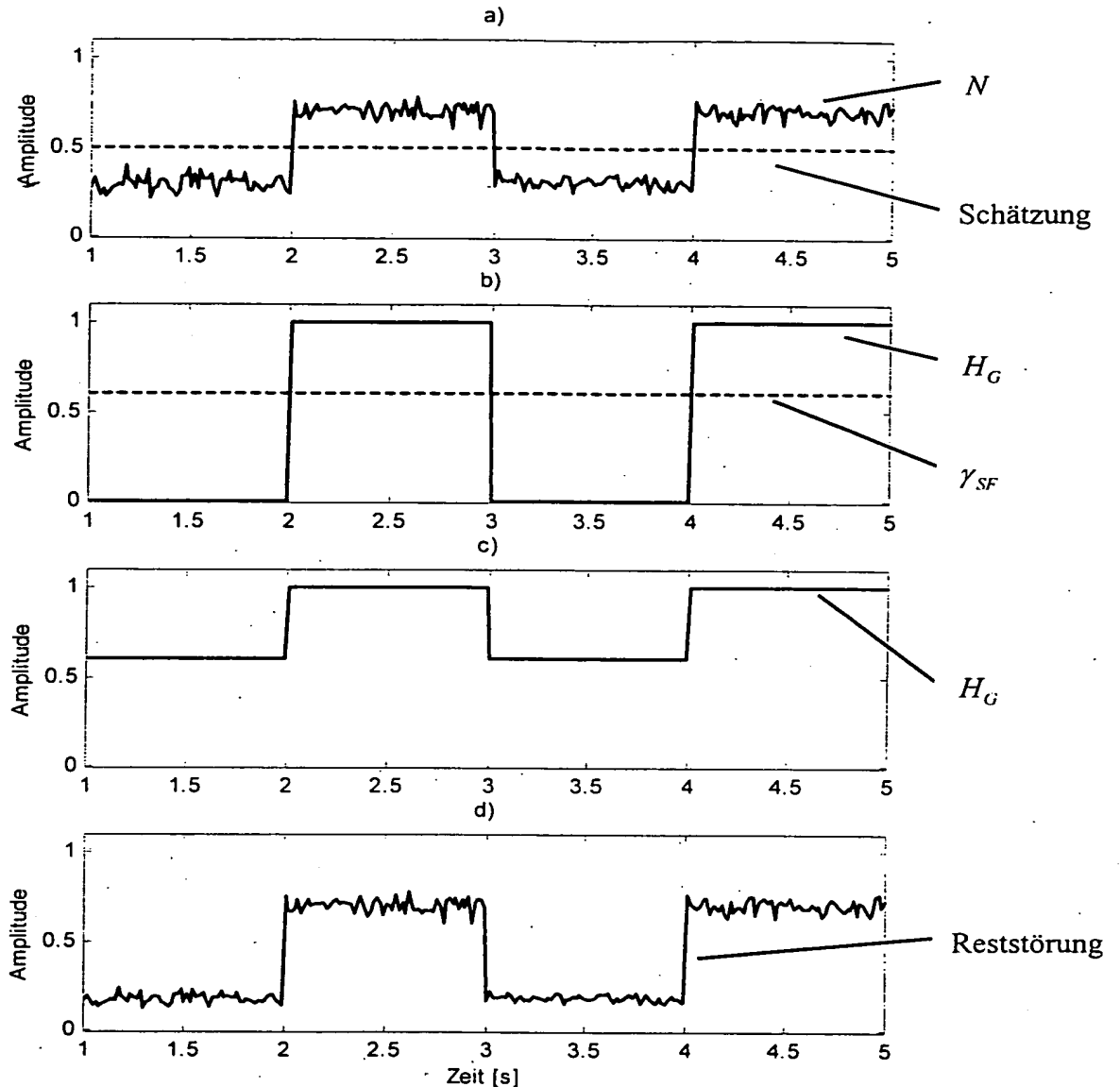


Fig. 7c

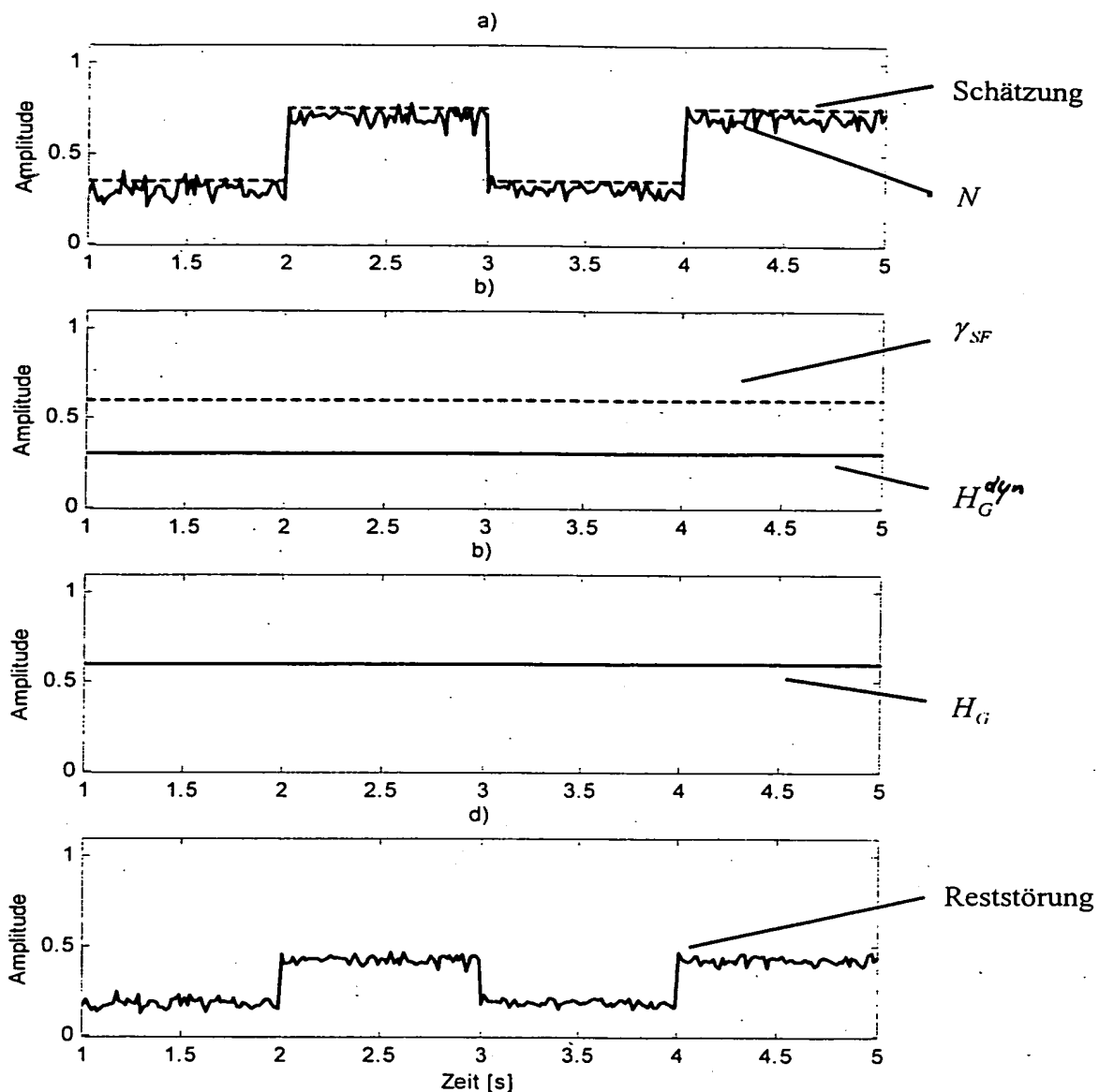
Erläuterung der Vorzüge des erfindungsgemäßen Verfahrens im Vergleich mit dem Stand der Technik

- a) zeitlicher Verlauf des instationären Rauschanteils eines zufällig, kontinuierlich, instationär gestörten Audiosignals
- b) resultierendes, instationäres Restrauschen nach einer Bearbeitung des gestörten Signals entsprechend des Stands der Technik (2. bekanntes Verfahren)
- c) resultierendes, stationäres Restrauschen nach einer Bearbeitung des gestörten Signals mit dem erfindungsgemäßen Verfahren



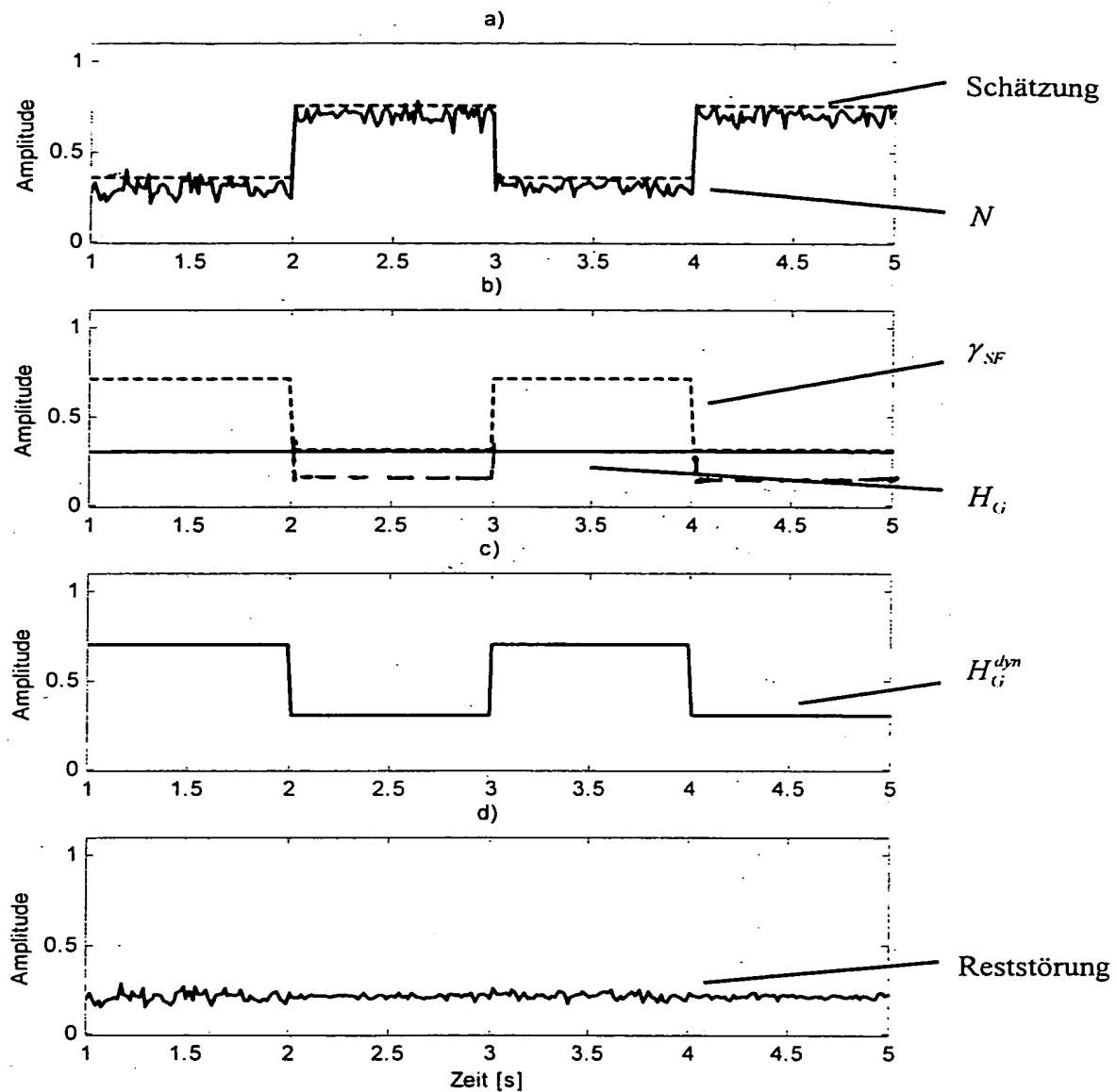
Figur 8: Schematische Wirkungsweise des begrenzten STSA-Verfahrens bei einer instationären Rauschstörung

- Repräsentation der Rauschstörung $N(m_i, l)$ einer diskreten Frequenz m_i (Betragsquadrat der Fouriertransformierten) und deren stationäre Schätzung (- -) in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ einer diskreten Frequenz m_i und zugehöriger, stationärer spektraler Boden $\gamma_{SF}(m_i)$ (- -) in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Filterfunktion $H_G(m_i, l, \gamma_{SF}(m_i))$ einer diskreten Frequenz m_i in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Reststörung im Ausgangssignal $\hat{S}(m_i, l)$ in Abhängigkeit von der Zeit



Figur 9: Schematische Wirkungsweise einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens

- Repräsentation der Rauschstörung $N(m_i, l)$ einer diskreten Frequenz m_i (Betragsquadrat der Fouriertransformierten) und deren Schätzung durch das erfindungsgemäße Verfahren (- -) in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ einer diskreten Frequenz m_i und zugehöriger stationärer spektraler Boden $\gamma_{SF}(m_i)$ (- -) in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Filterfunktion $H_G(m_i, l, \gamma_{SF}(m_i))$ einer diskreten Frequenz m_i in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Reststörung im Ausgangssignal $\hat{S}(m_i, l)$ in Abhängigkeit von der Zeit



Figur 10: Schematische Wirkungsweise einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens

- Repräsentation der Rauschstörung $N(m_i, l)$ einer diskreten Frequenz m_i (Betragsquadrat der Fouriertransformierten) und deren Schätzung durch das erfindungsgemäße Verfahren (---) in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Filterfunktion $H_G(m_i, l)$ einer diskreten Frequenz m_i und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bestimmter instationärer, spektraler Boden $\gamma_{SF}(m_i, l)$ (---) in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Filterfunktion $H_G^{dyn}(m_i, l, \gamma_{SF}(m_i, l))$ einer diskreten Frequenz m_i in Abhängigkeit von der Zeit
- Resultierende Reststörung im Ausgangssignal $\hat{S}(m_i, l)$ in Abhängigkeit von der Zeit